

コンクリートの打込み状況を 連続検知・ビジュアル化する手法を開発

藤倉裕介・小幡克実

施工者は施工による不具合を未然に防ぐとともに、合理的で経済的な施工計画を立案することが必要である。本研究では、高品質なコンクリート構造物を施工することを目的とし、型枠内に設置した計測センサーケーブルの静電容量の変化からコンクリートの打込み高さを連続的に検知し、リアルタイムでビジュアル的に打込み状況を表示することによりコンクリート打設時の品質管理を行う手法を開発した。本報告では、本手法の概要について示すとともに、現場での適用事例を紹介する。

キーワード：コンクリート打込み、現場計測、ビジュアル化、品質管理、静電容量

1. はじめに

近年、公共工事ではコンクリート構造物の高品質化、長寿命化が望まれ、技術提案型発注が増加している。コンクリート構造物の品質向上のためには事前の施工計画が重要であり、施工者は使用材料であるコンクリートの施工性能、力学特性および長期耐久性といった時間軸で要求される性能を事前に照査しておくことが必要である。

実際のコンクリート施工は現場で打込み、締固めを行うため、その品質は作業員の経験や熟練度、施工者の管理方法に大きく影響される。コンクリート構造物の品質向上のためには、まだ軟らかいフレッシュコンクリートを隔々に充填させ均一に締め固めることが重要であるが、施工条件や施工中のトラブルによってはコールドジョイントやジャンカといった不具合を生じるケースもある。施工時に初期欠陥を生じた場合にはコンクリート構造物が早期に劣化する事例も多く指摘されている。施工による不具合が減少しない背景には、工期短縮やコスト削減の観点から一度に多量のコンクリートを扱うことが多く、施工管理者の目が届かないことも要因として挙げられる。また、土木構造物では高密度に鉄筋が配置された部位や構造形態が複雑でコンクリートの充填状況の目視確認が困難な部位を有するケースが増加している背景も考えられる。

このようにコンクリートの品質が打込みの良し悪しに起因することが多いことから、コンクリートの充填状況を把握し不具合を未然に防ぐことを目的とした検知手法の開発が古くから検討されている。しかし、現

状の方法の多くは高価な上に計測機器の取扱いや設置に手間がかかるため、一般的な施工時に普及しているとはいえない。また、計測を実施しても作業に従事する誰でも見やすくしかもリアルタイムで結果を表示することが情報量の多さから困難であり、事後の評価となってしまうことが多いのも現状である。

以上の背景から、本研究では高品質なコンクリート構造物を施工することを目的とし、型枠内に設置した計測センサーケーブルの静電容量の変化からコンクリートの打込み状況を把握し、リアルタイムでビジュアル的に表示することで打込み時の品質管理を行う手法を開発した。本報告では、本手法の概要について示すとともに、現場での適用事例について報告する。

2. 本手法の概要

コンクリートの型枠内への充填状況を把握する方法としては、光学的方法、赤外線を使用する方法や変位計を設置する等、非接触で行う方式と、電気的なセンサーを型枠に貼り付ける方法やコンクリート中に埋め込む方法といった接触方式が提案されている。コンクリートの充填状況を施工中に確認する方法としては、後者の接触方式が採用され、各種センサーを型枠内に設置する手法が提案されている。例えば、印加電圧残留値を用いた手法¹⁾や静電容量を用いた手法²⁾が電気的手法として提案されており、実際の現場における活用事例も報告されている。しかし、これら既往のセンサーではセンサー設置位置の点の情報を得るものであり、コンクリートの打設状況を面的に捉えるために

は、複数のセンサーの設置が必要になる。また、これらのセンサーは有線式のものが多く、現場での配線の取回しに手間を要する。更に、無線で計測が可能なものやコンクリートの充填状況を携帯端末などにリアルタイムで表示して施工管理の利便性を高められるように拡張された事例は少ない。近年のICT技術に目を向ければ、その進歩は目まぐるしく、これらの技術を建設現場に活用することも施工の合理化のためには重要である。

本手法は、計測センサーケーブルを型枠内に設置し、型枠内に打ち込まれるコンクリートの充填に伴って変化する静電容量を連続的に計測することによりコンクリートの打込み高さを把握するものである。計測原理の概要を図-1に示す。図-1(a)は円筒に計測ケーブルを鉛直に設置した状況を示す。計測センサーケーブルは一定の間隔を持った2本の線により構成されており、この間には静電容量(コンデンサ)がある。一般の空気中では比誘電率は小さく、計測センサーケーブル全体の静電容量は少ない。例えばコンクリートの打ち込まれていない円筒の場合、図-1(a)に示すように静電容量の合計値は14である。一方、水などの液体をはじめフレッシュコンクリートでは一般に比誘電率が大きくなり(本例では空気の80倍)、図-1(b)に示すように約半分までコンクリートが打ち込まれると、その合計値は646となる。すなわち、コンクリートの打込み高さや静電容量の関係を事前に調べておくことにより、コンクリートの打込み高さを連続的に検知できるわけである。

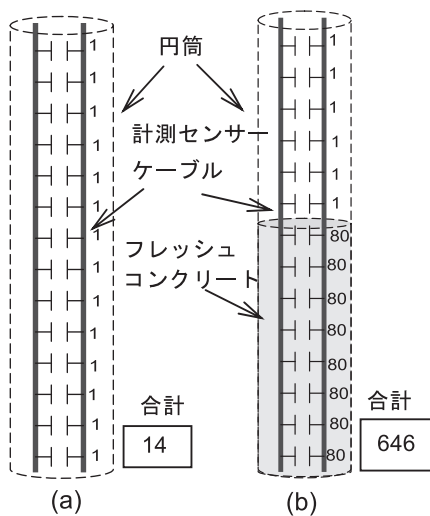


図-1 計測原理の概要

次に、本手法を実際の建設現場のコンクリート打設時において適用する場合のシステムの概要を図-2に示す。図-2に示すように計測センサーケーブルを

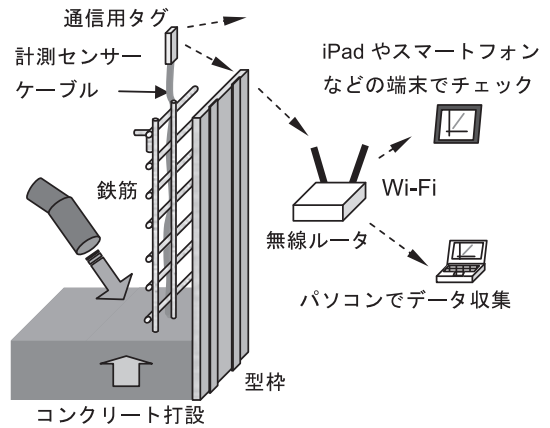


図-2 システムの概要³⁾

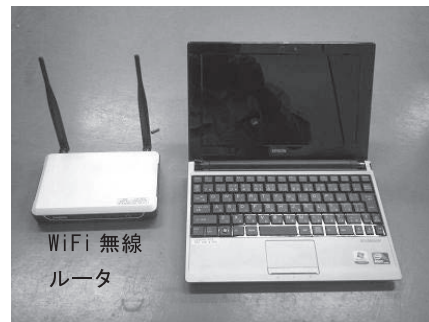


写真-1 計測用センサーケーブルおよび周辺機器

型枠内に鉛直に設置する。計測センサーケーブルは、型枠内の鉄筋あるいは別途用意した鉄筋等に沿わせて設置する。写真-1に計測機器および周辺機器を示す。計測センサーケーブルはコンクリート中に埋めてしまうケーブル部分と計測結果の値を無線で転送するタグとで構成されている。ケーブル部分は打込み高さ11m程度まで対応可能な長さとしている。タグについては、ケーブルに接続できるコネクタが付いており、コンクリートの所定打込み高さよりも上面に出しておき計測終了後に回収し転用する。また、タグは乾電池駆動であり48時間の連続使用が可能である。

図-2に示すようにタグから無線ルーターを介して回収したデータはパソコンに取り込まれ解析され、打込み高さを示すグラフや打込み状況を図化して表示する。これらの計測結果の情報は、Wi-Fi機能を使って

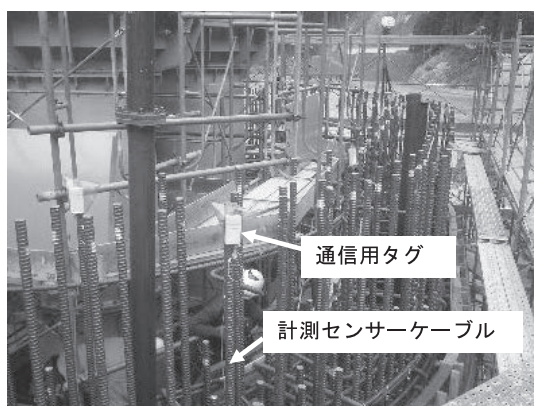
別のパソコンやスマートフォンなどの各種端末へ無線で転送することが可能であり、コンクリート打込み箇所から離れた場所でも計測状況を把握することが可能である。

本システムを用いてコンクリート打込み時の品質管理を行う上での特徴として、以下が挙げられる。

- ①一つの計測センサーケーブルで充填状況を線的にしかも連続的に検知が可能である。
- ②本手法では無線を介して計測データを取得できるシステムを組み合わせているため、施工現場から離れた場所において施工状況の確認が可能である。
- ③コンクリートの充填状況をリアルタイムでビジュアル的に把握するとともに、コンクリート打設速度や打設量の把握が可能である。
- ④打込み後からの時間を表示または色分けすることが可能であり、コールドジョイントといった施工時に生じる不具合を未然に防ぐことができる。
- ⑤コンクリート打込み時の充填状況の目視確認が困難で、しかも鉄筋量が多い場合や振動締め機の使用が困難な部位の打込み状況の把握、品質管理に有効である。

3. 建設現場への適用事例

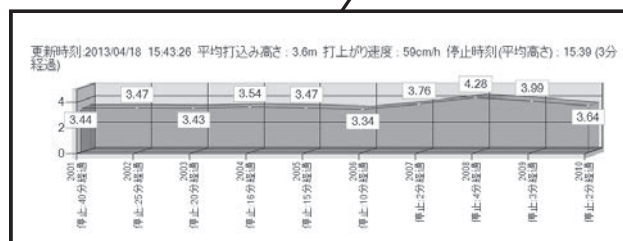
建設現場への適用事例として道路橋脚の工事例を紹介する。本工事は、長辺 9.5 m、短辺 6.5 m、コンクリート厚さ 1 m の中空の長方形の断面をした構造物である。コンクリート 1 回当たりの打設高さは 5 m である。高密度の配筋が配置されており、コンクリートの打設速度や打設高さを一定にしながら打設を行う必要があることから、本システムの適用を行ったものである。計測センサーケーブルおよび通信用タグの設置状況を写真—2 に示す。計測センサーケーブルは別途用意した長さ 5.5 m の鉄筋に沿わせて設置し、橋脚



写真—2 橋脚工事における計測機器の設置状況

断面の内側 8 箇所と外側 10 箇所に等間隔に設置を行った。

コンクリートの打設開始時から計測を開始し、打込み状況をリアルタイムでビジュアル的に表示を行った。写真—3 にはスマートフォンを用いて遠隔にて打込み状況を把握している状況を示す。また、打込み状況のビジュアル画面を示す。この画面では橋脚の外側に円周状に設置した 10 点の計測結果を円周状の展開図として表示している。本システムの適用により、作業状況が明確となりポンプ車の筒先位置や振動締め機の使用を適切に実施でき、コンクリートの一層当たりの打設高さや打設速度を施工計画通りに実施することが分かった。また、施工状況がビジュアル化されることにより、実際に打込み作業を行う作業員の品質への意識も高まることも分かった。本システムのような施工の「見える化」技術を施工管理に活用することで施工時の不具合を防ぐとともに、作業員の熟練度の影響を低減できるものと考えられる。



写真—3 遠隔での確認状況

4. おわりに

土木構造物では特殊な構造を有する場合も多く、コンクリートやモルタルなどの打込み状況の目視確認が困難な箇所も多い。これまで、圧力センサーや温度センサーを設置することで打込み状況の確認を行ってきたが、既往のセンサーでは設置した位置の点での情報しか得られず、複数のセンサーを配置して計測を実施していたのが現状であった。本システムの適用によりコンクリートの打込み状況を面的に、しかも連続的にリアルタイムで把握することができ、分かりやすくビ

ジュアル的に表示させることも可能となった。また、無線式のセンサーを用いることで現場での計測ケーブルの取回し等の作業が大幅に軽減できたといえる。本システムでは、単にコンクリートの打込み状況を把握するだけでなく、打込み速度、打込みからの経過時間、コンクリート打設量などの数値情報を得られるため、これまで以上に合理的に施工管理が実施できるものと考えられる。今後は、建設現場での適用と検証を重ねるとともに、打設時から養生まで一貫して品質管理が可能なシステム⁴⁾についても検討を行い本システムの利便性を向上していく予定である。

更に、近年ではコンクリート材料を取り巻く環境が変化し、使用材料の多様化、高度化、環境負荷低減を考慮した材料開発も進められている。特に高機能な混和材料の適用により流動性と充填性の高いコンクリートの適用も容易に可能となっている。このように締固めによる作業労力の少ないコンクリートと本システムを併用することにより、コンクリート施工の合理化、省力化を実現できるものとする。

JCM A

《参考文献》

- 1) 平田隆祥, 十河茂幸: 電圧印加方式によるコンクリートの充填感知に関する研究, コンクリート工学年次論文報告集, Vol.18, No.1, pp.69-74, 1996
- 2) 坂井吾郎, 万木正弘, 坂田昇, 岩城実: 品質保証を考慮した高流動コンクリートの施工について, コンクリート工学年次論文報告集, Vol.17, No.1, pp.233-238, 1993
- 3) 藤倉裕介ほか: コンクリート打設状況の連続検知, ビジュアル化による品質管理手法の開発と適用事例, 土木学会第66回年次学術講演会概要集, CS9-019, pp.37-38, 2011
- 4) 藤倉裕介: 静電容量の変化によるコンクリートの打込みから硬化過程の水分量評価と施工時の品質管理手法に関する検討, コンクリート工学年次論文集, Vol.34, No.1, pp.1336-1341, 2012

[筆者紹介]

藤倉 裕介 (ふじくら ゆうすけ)
 (株)フジタ
 技術センター 土木研究部
 主任研究員



小幡 克実 (おばた かつみ)
 (株)フジタ
 技術センター 先端技術開発部
 部長

